

総 説

高齢者の骨格筋量はレジスタンストレーニングによって増加するか
文献的検討西端 泉¹⁾

要 旨

2017年に、日本サルコペニア・フレイル学会により、日本で初めて『サルコペニア診療ガイドライン』が出版された。このガイドラインでは、サルコペニアを「高齢期にみられる骨格筋の減少と筋力もしくは身体機能（歩行速度など）の低下」と定義している。そして「運動がサルコペニア発症を予防・抑制できるか？」についてのエビデンスレベルは「低」、運動療法はサルコペニアの治療法として有効か？」についてのエビデンスレベルは「非常に低」と示されている。サルコペニアの本来の意味は「骨格筋量減少症」である。また、国外の研究グループによるサルコペニアの定義でも、「骨格筋量減少症」は共通しているが、「筋力低下」や「身体機能低下」は必ずしも採用されていない。そこで、高齢者の骨格筋量をレジスタンストレーニングによって増加させることができるか否かを文献的に確認した。

キーワード：サルコペニア、高齢者、レジスタンストレーニング、骨格筋量、除脂肪組織

緒言

2017年に、日本サルコペニア・フレイル学会により、日本で初めて『サルコペニア診療ガイドライン』が出版された。このガイドラインでは、サルコペニアを「高齢期にみられる骨格筋の減少と筋力もしくは身体機能（歩行速度など）の低下」と定義している。そして「運動がサルコペニア発症を予防・抑制できるか？」についてのエビデンスレベルは「低」、運動療法はサルコペニアの治療法として有効か？」についてのエビデンスレベルは「非常に低」と示されている。サルコペニアの本来の意味は「骨格筋量減少症」である。また、国内外の研究グループによりサルコペニアの定義では、「骨格筋量減少症」は共通しているが、『サルコペニア診療ガイドライン』で採用されている「筋力低下」や「身体機能低下」は必ずしも採用さ

れていない。『サルコペニア診療ガイドライン』で紹介されている7つの国内外の研究グループのうち、「筋力低下」は3つの研究グループでは採用しておらず、「身体機能低下」は1つの研究グループが採用していない。そこで、サルコペニアの本質的指標を骨格筋量とし、改めて、高齢者の骨格筋量をレジスタンストレーニングによって増加させることができるか否かを文献的に再確認することにした。

方法

医中誌 Web と、ProQuest および PubMed のデータベースを使用して、表1に示したキーワードの組み合わせで、原著論文を検索した。会議録（学会発表抄録）は除外した。最終検索日は、2017年9月7日であった。

見つかった論文の中から、高齢者のレジスタンス

表1 論文検索

データベース	キーワード	ヒット数
医中誌 Web	高齢者 骨格筋量 トレーニング	34
ProQuest	elderly training “muscle mass”	3328
	elderly training “muscle size”	635
PubMed	elderly training “muscle hypertrophy”	171
	elderly training “lean body mass”	190
	elderly training “fat-free mass”	196
	elderly training “muscle area”	19

1) 川崎市立看護短期大学

トレーニングが骨格筋量ないしは除脂肪組織量を増加させるか否かを検討した介入研究を選択した。

被験者の平均年齢が 65 歳以上のものに限定した。

生体の骨格筋量を直接測定する方法はない。このため、全ての測定法は推定法である。『サルコペニア診療ガイドライン』では、四肢骨格筋量を DXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) 法または BIA (Bioelectrical Impedance Analysis) 法で推定することになっている。DXA 法では、得られる全身の身体組成評価の結果より、四肢の非脂肪量（除脂肪量）の総量を身長²で除し、骨格筋量指数を求めている¹⁾。DXA 法による身体組成の推定精度は現存する方法の中で最も優れている²⁾が、骨格筋量は、一定の計算式により四肢の非脂肪量から推定しただけである。BIA 法では、機械で微弱な交流電気を流し生体組織の電気抵抗を計測し、組織の違いによる電気抵抗の相違を利用して身体組成を推定する³⁾。その電気抵抗は体水分量によって左右され、ヒトの体水分量や体水分の分布は、骨格筋量だけでなく様々な要因によって変動するため、そもそも BIA 法による身体組成の推定値には大きな誤差が伴う。このように、いずれの推定方法にも精度上の問題があることから、本稿では、論文の採択においては、身体組成の推定方法、および身体組成なのか骨格筋量なのかを区別しなかった。また、超音波や CT・MRI により、骨格筋量ではなく、筋厚や骨格筋横断面積を測定した論文も存在したが、これらも、論文の採択においては区別しなかった。

レジスタンストレーニングを行うと、その最中から、骨格筋の収縮に伴う圧力の上昇や、乳酸などの代謝産物の増加に伴う浸透圧の増加によって、骨格筋内の水分量が増加する（いわゆるポンプアップ）⁴⁾。これに伴って、骨格筋の体積は増加するし、水分の増加に伴って電気抵抗が減少するため、BIA 法による測定値は、骨格筋量が増加したように振る舞う。しかし、これは、骨格筋量の真の増加（構成たんぱく質量の増加）ではない。超音波による筋厚の測定においても、同様の現象が見られることが報告⁵⁾されている。このため、骨格筋量の測定はポンプアップが解消してから行うべきである。しかし、最後のトレーニング実施から測定までの時間を明示していない論文も多いため、このことに関しても、無視した。

結果として、表 2 に示した論文 60 編を採択し、レビューに含めた。

空気抵抗式マシンやアイソキネティック・マシンでのトレーニングは、抵抗値は数字で設定できるが、それが、各被験者の最大筋力の何%にあたるのかが不明であること、また、全力で動作を行うとしても疲労困憊まで繰り返すことはないことから、強度は「不明」とした。

サプリメントや体重減少食の影響を検討していた研究では、原則として、サプリメントを摂取しない、ないしは体重減少食を摂取しない対照群のデータを表 2 に示した。サプリメントを摂取しない、ないしは体重減少食を摂取しない群がない研究では、そのことを備考に示した。

なお、見つかった和文文献の全ては総説であったため、本稿での検討には加えなかった。

結果

採択した 60 編の論文の中では、『サルコペニア診療ガイドライン』も推奨している DXA で身体組成を評価したものが最も多く、31 編であった（表 3）。これらの文献で示されている除脂肪組織量の変化割合は、-2% から 7% であった。-2%、すなわちトレーニングを行った結果として除脂肪組織量が減少したと報告した研究³⁶⁾は、研究の主目的が肥満高齢者の減量であり、摂取エネルギー制限を行っていたため、表 3 には入れなかった。除脂肪組織量が増加したと報告した研究は 19 編であり、増加しなかったと報告した研究 7 編よりも 2.7 倍多かった。

『サルコペニア診療ガイドライン』も推奨している BIA で身体組成を評価した研究は 7 編であった。これらの中で、トレーニングによって除脂肪組織量が増加したと報告したのは、わずか 1 編であった。

超音波で筋厚を評価した研究は 9 編であり、トレーニングに伴って筋厚が増加したと報告したのは 7 編であり、10% 以上の増加を報告したものが 3 編あった。

CT で骨格筋の横断面積を評価した研究は 6 編であり、横断面積が増加したと報告した研究数と、増加しなかったと報告した研究数は、それぞれ 3 編で、同数であった。

MRI で骨格筋の横断面積を評価した研究は 6 編であり、5 編が横断面積の増加を報告した。その増加の程度には、研究間に大きな差が見られた。

その他、筋生検で筋線維の横断面積を評価した研究が 2 編、プレチスモグラフィで身体組成を評価した研究が 2 編、全身カリウム量で身体組成を評価

表2 高齢者のレジスタンストレーニングに伴う除脂肪組織量、骨格筋量、または骨格筋横断面積の変化を報告している論文

No	筆者	発行年	年齢 (歳)	被験者 数合計	性別	トレーニング 頻度 (/週)	トレーニング 期間	種目数	セット数 (最終)	強度 (最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
6	F. M. Ivey ら	2000	65 ~ 75	22	男女	3	9 週	空気抵抗マシンで1	5	不明	DXA と MRI	除脂肪組織量は変化せず。トレーニングした側の脚の大腿四頭筋の筋量は、男性で $1766.3 \pm 45.8\text{cm}^3$ から 1969.8 ± 43.7 へ、女性で 1125.15 ± 52.6 から 1260.5 ± 65.0 へ増加。	DXA : 0% MRI : 12% トレーニングした脚の反対側の脚が対照脚
7	Carmen Castaneda ら	2002	66 ± 8	62	男女	3	16 週	空気抵抗マシンで5	3	不明	DXA	除脂肪組織量が $44.3 \pm 1.7\text{kg}$ から 45.5 ± 1.9 へ増加。	RCT 3%
8	Philip A. Ades ら	2005	72 ± 5	42	女	3	6 月	マシンとダンベルで8	2	80%1RM (RPE14 で終了)	DXA	除脂肪組織量も四肢骨格筋量も変化せず。	RCT 0% 心疾患患者
9	David W. Dunstan ら	2005	60 ~ 80	36	男女	不明	12 月	不明	不明	不明	DXA	減量食を摂取した群では除脂肪組織量が減少。減量食とともにレジスタンストレーニングを行った群では変化せず。	RCT 0%
10	Daniel A. Galvão ら	2006	65 ~ 78	16	男女	2	20 週	マシンで7	3	8RM	DXA	男性の、体幹の除脂肪組織量が $26.4 \pm 1.9\text{kg}$ から 26.6 ± 1.8 へ、四肢骨格筋量が 23.9 ± 2.3 から 24.4 ± 2.2 へ、女性の、体幹の除脂肪組織量が 19.1 ± 2.2 から 19.4 ± 1.9 へ、四肢骨格筋量が 15.6 ± 1.7 から 16.2 ± 1.5 へ増加。	1 ~ 4%
11	Michael J. Hartman ら	2007	66.7 ± 4.4	29	男女	3	26 週	マシンとフリーウェイトで9	2	65 ~ 80%1RM	DXA	除脂肪組織量が $49.4 \pm 11.2\text{kg}$ から 51.3 ± 12.0 へ増加。	4%
12	Paul LaStrayo ら	2007	70 ~ 89	11	男女	2 ~ 3	11 週	エクセントリック・エルゴメーター	1	RPE11 ~ 13	DXA	大腿部の骨格筋量が6%増加。	6%
13	Mark Tarnopolsky ら	2007	男性 74.8 ± 6.6 女性 68.3 ± 4.4	18	男女	2	6 月	マシンで12	3	75%1RM	DXA	除脂肪組織量が男性で2.0kg、女性で1.0増加。	RCT
14	Kieran F. Reid ら	2008	74.2 ± 7	57	男女	3	12 週	マシンで2	3	70%1RM	DXA	トレーニングを行わなかった対照群との有意差なし。	RCT DXA : 0%
15	Erik D. Hanson ら	2009	65 ~ 85	81	男女	3	22 週	空気抵抗マシンで1	5	不明	DXA と CT	除脂肪組織量が $49.8 \pm 1.4\text{kg}$ から 50.4 ± 1.5 へ増加。 トレーニングした脚の骨格筋量が $1136 \pm 71\text{cm}^3$ 増加。	DXA : 1%
16	Matthias Mueller ら	2009	80.6 ± 3.5	62	男女	2	12 週	マシンで4	3	10RM	DXA	大腿部の骨格筋量が $2.0 \pm 0.3\%$ 増加。	RCT DXA : 2%
17	Dennis R. Taaffe ら	2009	65 ~ 83	13	男女	2	24 週	マシンで6	3	75%1RM	DXA と CT	骨を除く除脂肪組織量が $47.5 \pm 2.9\text{kg}$ から 49.1 ± 2.9 へ増加。大腿四頭筋の横断面積は変化せず。	DXA : 3% CT : 0%

No	筆者	発行年	年齢 (歳)	被験者数合計	性別	トレーニング頻度 (ノ/週)	トレーニング期間	種目数	セット数 (最終)	強度 (最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
18	Lex B. Verdijk ら	2009	72 ± 2	26	男	3	12 週	マシンで 2	4	75 ~ 80%1RM	DXA	脚の骨格筋量が 8.2 ± 0.5L から 8.3 ± 0.52 へ増加。 RCT DXA : 1%	
19	Lex B. Verdijk ら	2009	72 ± 2	13	男	3	12 週	マシンで 2	4	75 ~ 80%1RM	DXA と CT	脚の筋量が 8.2 ± 0.5L から 8.3 ± 0.5 へ増加。大腿四頭筋横断面積は 75.9 ± 3.7cm ² から 82.4 ± 3.9 へ増加。除脂肪組織量は変化せず。 DXA : 1% CT : 9%	
20	Dale I. Lovell ら	2010	70 ~ 80	24	男	3	16 週	マシンで 1	3	70 ~ 90%1RM	DXA	大腿部の骨格筋量が 10.22 ± 5.3kg から 10.98 ± 5.4 へ増加。 RCT DXA : 7%	
21	Matthias Mueller ら	2011	80.1 ± 3.7	24	男女	2	12 週	マシンで 4	3	不明	DXA	大腿部の骨格筋量が 9.3 ± 0.3kg から 9.6 ± 0.3 へ増加。 DXA : 3%	
22	Krupa Shah ら	2011	70 ± 4	107	男女	3	52 週	マシンで 9	2 ~ 3	80%1RM	DXA	除脂肪組織量が 2.4 ± 2.5% 増加。 RCT DXA : 2%	
23	Dennis T. Villareal ら	2011	70 ± 4	107	男女	3	52 週	マシンで 9	2 ~ 3	80%1RM	DXA	大腿部の骨格筋量が 30 ± 34cm ³ 増加。 RCT DXA : 3%	
24	A. Arnarson ら	2013	65 ~ 91	161	男女	3	12 週	マシンで 10	3	75 ~ 80%1RM	DXA	ホエイたんぱく質をサプリメントとして摂取した群では除脂肪組織量が 0.7 ± 1.1kg、四肢の骨格筋量が 0.6 ± 1.2 増加。等カロリーの炭水化物を摂取した群では除脂肪組織量が 0.9 ± 1.5、四肢の骨格筋量が 0.5 ± 0.8 増加。 RCT	
25	D. Glinborg ら	2013	60 ~ 78	54	男	2 ~ 3	6 月	不明	2 ~ 3	6 ~ 10RM	DXA	除脂肪組織量は変化せず。 RCT DXA : 0%	
26	Anthony P. Marsh ら	2013	70.6 ± 3.6	88	男女	3	16 週	マシンで。種目数は不明	3	70%1RM	DXA	除脂肪組織量も四肢骨格筋量も変化せず。 RCT DXA : 0% 食事制限により体重は 6.6% 減少。	
27	Maren S. Fragala ら	2014	61 ~ 85	23	男女	2	6 週	不明で 13	3	OMNI の RPE で 5-6	DXA と超音波	除脂肪組織量は変化せず。外側広筋の横断面積が 14.5 ± 4.1cm ² から 15.7 ± 4.81 へ増加。超音波 : 8% RCT DXA : 0%	
28	Neil A. Kelly ら	2014	67 ± 0.5	64	男女	3	16 週	マシンで 5	3	約 70%1RM	DXA	大腿部の骨格筋量が 11.9 ± 3.0kg から 12.4 ± 3.3 へ増加。 DXA : 4% パーキンソン病患者。トレーニングを終了したのは 15 名。	
29	Matthew G. Villanueva ら	2014	68.1 ± 6.1	22	男	3	12 週	マシンで 4 ~ 6	2 ~ 6	約 70%1RM	DXA	除脂肪組織量が 60.2 ± 8.3kg から 61.6 ± 9.4 へ増加。 RCT DXA : 2% ピリオダイゼーションを行った。	

No	筆者	発行年	年齢 (歳)	被験者数合計	性別	トレーニング頻度 (ノ週)	トレーニング期間	種目数	セット数 (最終)	強度 (最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
30	Alex S. Ribeiro ら	2015	68.9 ± 6.1	65	女	3	初心者8週、経験者36週	マシン7とフリーウェイト1	3	8 ～ 12RM	DXA	骨格筋量が、初心者では16.4 ± 2.1kg から17.1 ± 2.14へ、経験者では19.2 ± 3.5 から19.4 ± 3.4へ増加。	初心者DXA：4%
31	Wagner Rodrigues Martins ら	2015	66.2 ± 6.6	40	男女	2	8週	ラバーバンドで7	2	OMNI-RPE で8 ～ 10	DXA	上肢の除脂肪組織量も、下肢の除脂肪組織量も変化せず。	RCT DXA：0%
32	Runar Unhjem ら	2015	74 ± 6	7	男	3	8週	マシンで3	4	75 ～ 80%1RM	DXA	脚の骨格筋量が21,468 ± 2599g から22,426 ± 2948へ増加。	DXA：4%
33	Matthew G. Villanueva ら	2015	65.6 ± 3.4	22	男	3	8週	マシンで4 ～ 6	2 ～ 4	8 ～ 15RM	DXA	除脂肪組織量が、57.8 ± 8.5kg から59.3 ± 9.2へ増加。	RCT DXA：3%
34	Denise Zdzieblik ら	2015	72.5 ± 4.68	53	男	3	12週	マシンで4以上	1	8RM	DXA	除脂肪組織量が56.9 ± 6.68kg から61.1 ± 6.88へ増加。	RCT DXA：7%
35	Susan J. Torres ら	2017	73	100	女	2	4月	フリーウェイトで8	3	RPE の14 ～ 16	DXA	脚の骨格筋量は変化せず。	RCT DXA：0%
36	Dennis T. Villareal ら	2017	70	120	男女	3	26週	マシンで9	2 ～ 3	85%1RM	DXA	除脂肪組織量は減少。	RCT DXA：-2% 食事制限も行った。
37	Gladys Leopoldine Onambéle-Pearson ら	2010	67.2 ± 5.0以上	29	男女	3	12週	マシンで4自宅ではラバーバンド	2 ～ 4	高強度：1RMの約80% (施設で) 低強度：1RMの約40% (自宅)	BIA と超音波	体組成：両群で有意な変化なし。筋厚：低強度トレーニングでのみ有意に増加 (33.6 ± 1.7 mm から36.1 ± 1.4)。	RCT BIA：0% 超音波：7% 両群とも糖質とたんぱく質のサプリメントを摂取
38	Gladys Leopoldine Onambéle-Pearson ら	2010	66 ± 5以上	30	男女	3	12週	マシンで4自宅ではラバーバンド	2 ～ 4	高強度：1RMの約80% (施設で) 低強度：1RMの約40% (自宅)	BIA と超音波	体組成：両群で有意な変化なし。筋厚：高強度トレーニングでのみ有意に増加 (34.4 ± 1.8 mm から36.4 ± 2.0)。	RCT BIA：0% 超音波：6%
39	Lindy Clemson ら	2012	84.03 ± 4.38	317	女	3	6月 (自宅ですべて自主的に実施。電話で確認)	アングルウェイトで6	不明	不明	BIA	除脂肪組織量は変化せず。	BIA：0%
40	Jinke Park	2016	65以上	30	男	3	24週	ゴムバンドで14	3 ～ 5	不明	BIA	骨格筋量は、対照群では27.3 ± 3.0kg から27.0 ± 3.0へ減少したのに対して、トレーニング群では27.4 ± 3.7から28.2 ± 3.7へ増加。	RCT BIA：3%
41	Leonel Sao Romao Preto ら	2016	86	25	男女	3	6月	ダンベルを使用した種目など	不明	不明	BIA	変化せず。	RCT BIA：0%
42	Sandra Haider ら	2017	実験群83.0 ± 8.0 対照群82.5 ± 8.0	80	男女	2	12週	自重とラバーバンドで6	2	15RM	BIA	変化せず。	RCT BIA：0%

No	筆者	発行年	年齢(歳)	被験者数合計	性別	トレーニング頻度(／週)	トレーニング期間	種目数	セット数(最終)	強度(最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
43	Shunji Koya ら	2017	76	54	男女	不明	不明	リスト・アウエイトで4	最大3	60～70%1RM 最大筋力は徒手筋力計で計測。	BIA	骨格筋量は20.60kgから20.00へ減少。	BIA:-3% 慢性肝疾患入院患者
44	Yu Yaginuma	2017	69±6	76	男女	3～6	12週	自体重で5	2～3	不明	BIAと超音波	除脂肪組織量も大腿部の筋厚も変化せず。	BIA:0% 超音波:0%
45	K. Hakkinen ら	2000	70±4と69±5	17	不明	2	24週	マシンで6～7	3～5	70～80%1RM	超音波	大腿四頭筋の横断面積は7%増加。	超音波:7%
46	Kishiko Ogawa ら	2010	85.0±4.5	21	女	1	12週	マシンで4	1～2	不明	超音波	筋厚が、上腕背部で187±34mmから221±43へ、腹部で66±18から70±20へ、肩甲骨部で142±27から159±34へ増加。	超音波:部位により6～18%
47	Cleiton Silva Correa ら	2013	67±5	10	女	2	12週	マシンで9	3	8～10RM	超音波	膝関節伸展筋体積:656.86±210.94mm ³ から820.14±255.22へ増加。	超音波:25%
48	Simon Walker ら	2015	65±4	38	男	2	20週	マシンで8	2～3(種目によって異なる)	80～85%1RM	超音波	外側広筋の筋厚が10±8%増加。	超音波:10%
49	Tomohiro Yasuda ら	2016	群別の平均が68～72	30	女	2	12週	ゴムバンドで2	2種類の強度で各1	OMNIのRPEで5.6と8.4	超音波	大腿部の骨格筋の横断面積は変化せず。	RCT 超音波:0%
50	Maria A. Fiatarone ら	1994	87.1±0.6	100	男女	3	10週	ケープル・ブリーデーで1または2	3	80%1RM	CTと全身カリウム量	除脂肪組織量も大腿部の骨格筋の横断面積も変化せず。	RCT CT:0%
51	Joshua J. Avila ら	2010	67±4	57	男女	3	10週	マシンで6	4	8～12RM	CT	大腿部の骨格筋の横断面積は変化せず。	RCT CT:0% 減量食を摂取。
52	Eduardo L. Cadore ら	2014	91.4±4.1	24	不明	2	12週	マシンで3	1	40～60%1RM	CT	トレニング群でのみ大腿四頭筋横断面積が6,738±1,609mm ² から7,004±1,700へ、ハムストリング横断面積が2,256±725から2,436±685へ有意(p<0.01)に増加。	RCT CT:4% 複合トレニング
53	Mark D. Haub ら	2016	65±5	21	男	3	15週	マシンで5	3	80%1RM	CT	大腿部の横断面積が、ラクト・オボ・ベジタリアン群では4.2±3.0%、肉食群では6.0±2.6%、増加した。	RCT CT:6%
54	Frederick M. Ivey ら	2000	男性69±3 女性68±2	23	男女	3	9週	空気抵抗マシンで1	5	不明	MRI	除脂肪組織量は変化せず。トレニングした側の脚の大腿四頭筋の筋量は、男性で1753±44cm ³ から1955±43へ、女性で1125±53から1260±65へ増加。	MRI:12% トレニングしなかった反対側の脚が対照脚

No	筆者	発行年	年齢 (歳)	被験者 数合計	性別	トレーニング 頻度 (/週)	トレーニング 期間	種目数	セット数 (最終)	強度 (最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
55	M. Kongsgaard ら	2004	65 ~ 80	18	男	2	12 週	マシンで 3	4	80%1RM	MRI	大腿四頭筋の横断面積が $5390 \pm 360\text{mm}^2$ から 5614 ± 396 へ増加。	RCT MRI : 4%
56	Fabio Esposito ら	2005	62 ~ 78	10	男	2	12 週	アイソキネティック マシン 1	6	不明	MRI	大腿部の骨格筋横断面積が $52.3 \pm 3.4\text{cm}^2$ から 55.7 ± 3.5 へ、 $4/10$ の位置では 58.7 ± 3.9 から 63.0 ± 3.9 へ、 $5/10$ の位置では 60.1 ± 3.4 から 63.2 ± 3.7 へ増加。	MRI : 部位により 5 ~ 7%
57	Christopher I. Morse ら	2007	73.9 ± 3.3	19	男	施設で 2、自宅 で 1	52 週	マシンで 2 自宅ではゴムバン ドで	3	8 ~ 10RM	MRI	腓腹筋の外側頭の横断面積が 27.2 ± 5.9 から 31.8 ± 6.2 cm^2 へ増加。	RCT MRI : 17%
58	Jason A. Melnyk ら	2009	65 ~ 75	22	男女	3	9 週	空気抵抗マシンで 1	5	不明	MRI	大腿四頭筋の横断面積が、男性の起始部では $53.0 \pm 9.2\text{cm}^2$ から 58.7 ± 9.9 へ、中央部では 63.5 ± 9.2 から 68.6 ± 9.9 へ、停止部では 48.1 ± 9.2 から 51.7 ± 9.9 へ、女性の起始部では 34.9 ± 9.2 から 37.3 ± 9.9 へ、中央部では 45.2 ± 9.2 から 50.6 ± 9.9 へ、停止部では 37.8 ± 9.2 から 42.9 ± 9.9 へ増加。	RCT MRI : 性別、部位により 7 ~ 13%
59	Mariasole Da Boit ら	2017	70.6 ± 4.5 70.7 ± 3.3	27 23	男女	2	18 週	マシンで 4	4	70%1RM	MRI	大腿部の横断面積は変化せず。	RCT MRI : 0%
60	M. Bonnefoy ら	2003	83	50	女	3	9 月	座位でダンベルと ラバーバンドを使 用	1	中等強度。 座位。 ダンベルと チューブを 使用。	重水	除脂肪組織量は変化せず。	RCT 重水 : 0%
61	Valeria Parente ら	2008	78 ± 4.3	4	女	施設で 2、自宅 で 1	1 年	マシンで 2	1	60%1RM	筋生検	変化なし。	筋生検 : 0%
62	Stig Moisted	2014	65	20	男	3	16 週	マシンで 3	5	6 ~ 15RM	筋生検	筋線維横断面積は変化せず。	筋生検 : 0% 腎疾患患者。19 名 が人工透析を受け ていた。
63	Wayne W. Campbell ら	2009	68 ± 1	16	女	3	16 週	マシンで 5	3	80%1RM	プレチス モグラ フィーと 皮下脂肪 厚	除脂肪組織量は変化せず。	RCT 0% 食事制限も行った。

No	筆者	発行年	年齢 (歳)	被験者数合計	性別	トレーニング頻度 (／週)	トレーニング期間	種日数	セット数 (最終)	強度 (最終)	測定方法	結果 (統計学的に有意なもののみ)	備考
64	Elizabeth A. Valente ら	2011	66.6 ± 4.3	27	男女	3	10 週	マシンで 6	4	8 ～ 12RM	プレチスモグラフィ	除脂肪組織量が、食事制限群では 51.9 ± 9.0kg から 50.5 ± 8.8kg へ減少。食事制限 + レジスタンストレーニング群では変化せず。	減量食とともに RT を実施。0%
65	Wayne Phillips と Rex Hazeldene	1996	73 ± 7.3	6	男	3	12 週	アイソキネティックマシンで 2	1	不明	皮下脂肪厚と周径	変化せず。	0%

した研究が1編、重水で身体組成を評価した研究が1編、皮下脂肪厚で身体組成を評価した研究が1編あり、いずれも変化しなかったと報告した。

全体として、増加しなかったと報告したものが19編に対して、増加したと報告したものは34編と、増加したと報告した研究の方が1.8倍多かった。

論議

超音波、CT、MRIで評価し、増加したと報告した増加の程度は、DXAとBIAで評価し、増加したと報

告した増加の程度よりも大きかった（表3）。この理由は、超音波、CT、MRIは、トレーニングした骨格筋そのものの筋厚や横断面積を評価するものであるのに対して、DXAとBIAは、全身に占める除脂肪組織の割合を評価するものであるためと考えられる。除脂肪組織には、骨格筋だけでなく、内臓、骨、皮膚、神経、腺などの、脂肪組織以外の全てが含まれる。レジスタンストレーニングを行っても、内臓などの組織量は変化しない。このため、トレーニングに伴って骨格筋量は増加しても、除脂肪組織量全

表3 除脂肪組織量、骨格筋量、または骨格筋の横断面積の変化量別文献番号

減量食を摂取していた研究は除外

入院中の患者を被験者としていた研究は除外

変化量	DXA	BIA	超音波	CT	MRI
0%	6, 8, 9, 14, 25, 31, 35	37, 38, 39, 41, 42, 44	44, 49	17, 50, 51	59
1%	15, 18, 19				
2%	10*, 16, 22, 29				
3%	7, 17, 21, 23, 33	40			
4%	11, 28, 30, 4			52	55
5%					
6%	12,		38	53	56***
7%	20, 34		37, 45		
8%			27		
9%				19	
10%			48		58****
11%					
12%			46**		54
13%					
14%					
15%					
16%					
17%					57
18%					
19%					
20%					
21%					
22%					
23%					
24%					
25%			47		

DXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry)

BIA (Bioelectrical Impedance Analysis)

* Daniel A. Galvão らの研究¹⁰結果は1~4%であったが、2%とみなした。

** Kishiko Ogawa らの研究⁴⁶結果は6~18%であったが、12%とみなした。

*** Fabio Esposito らの研究⁵⁶結果は5~7%であったが、6%とみなした。

**** Jason A. Melnyk らの研究⁵⁸結果は7~13%であったが、10%とみなした。

体としては大きくは増加しない。例えば、骨格筋量が1 kg 増加したとしても、体重が50kg の場合、増加割合は2 %にしかない。この程度の変化は、例えばBIA による測定誤差に埋もれてしまう可能性が高い。

『サルコペニア診療ガイドライン』では、DXA またはBIA で骨格筋量を評価することになっているが、今回の結果は、DXA またはBIA では、骨格筋量の変化を十分に把握することができない可能性があることを示している。特に、小規模の医療施設では、DXA 装置を導入することは、費用的にも、設置スペース的にも、技術者（資格）的にも困難であると考えられるので、BIA を導入する可能性が高い。ところが、BIA で評価した7編の研究の中で、除脂肪組織量が増加したと報告したものは1編にすぎないため、トレーニングに伴う変化をBIA では十分に評価できない可能性がより高いと考えられる。

いずれの評価方法においても、増加したと報告した研究と、増加しなかったと報告した研究が混在している。高齢になるほどトレーニング効果が得られにくくなる可能性があることから、各研究の被験者の平均年齢と、除脂肪組織量ないしは骨格筋量の増

加の程度との関係をグラフ化してみた（図1）。しかし、関係は見られなかった。トレーニング頻度に関しては、ほとんどの研究が週に2～3回であり、明確な差はみられなかった。トレーニング期間は12週間が多かったが、トレーニング期間が同じであった研究においても、増加したと報告した研究と、増加しなかったと報告した研究が混在していた。中には1年間継続したものが2編あったが、両方の研究で増加しなかった（1編は減量目的）。このため、「トレーニング期間が長いほど効果が大きい」ことはなかった。トレーニングの種目数が多いほど、より多くの骨格筋が肥大し、除脂肪組織量も増加する可能性があることから、種目数と除脂肪組織量ないしは骨格筋量の増加の程度との関係もグラフ化してみた（図2）が、関係は見られなかった。セット数においては、ほとんどの研究では2～4の複数セットを被験者に行わせていた。1セットのみしか行わなかった研究は6編あったが、半数の3編が増加を報告しているため、セット数が決定的な因子であるとは考えられない。

トレーニングの方法として、トレーニング用マシンを使用していた研究が圧倒的に多いが、中に

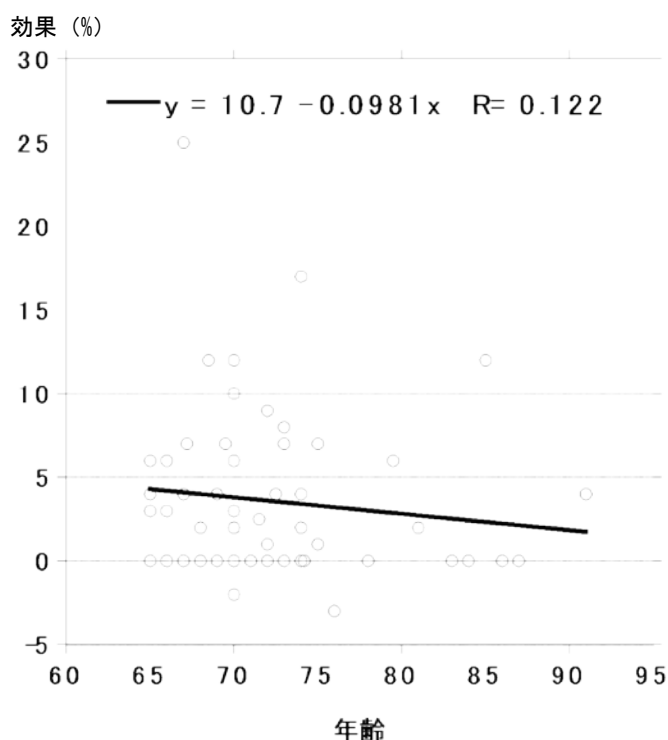


図1 被験者の年齢とトレーニング効果

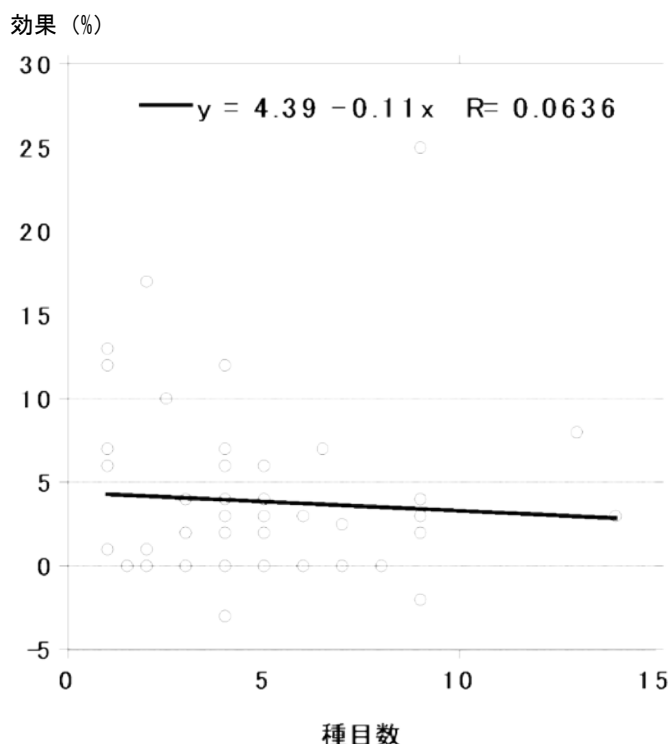


図2 トレーニングの種目数とトレーニング効果

は、自体重、ラバーバンド、ダンベルなどでトレーニングした研究もある。それらの中で、骨格筋量の変化に対する感度が比較的高いと考えられる超音波とMRIで評価した研究のみで比較すると、マシンでトレーニングした研究13編のうち12編は4%以上の骨格筋量の増加を報告したのに対して、自体重、ラバーバンド、ダンベルなどでトレーニングした研究の2編のいずれも骨格筋量は増加しなかった（表

4）。この原因として、自体重、ラバーバンド、ダンベルなどでは、十分な強度に達することができなかった可能性がある。アメリカスポーツ医学会は、そのガイドラインである“ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription”の最新版である10th Edition、2016年の中で、高齢者のレジスタンストレーニングは「低強度（例：1RMの40～50%）で開始し、中等から高強度（1RMの60～

表4 トレーニング方法と効果（超音波またはMRIで評価）別文献番号

変化量	マシン	自体重・ラバーバンド・ダンベル
0%	59	44, 37
1%		
2%		
3%		
4%	55	
5%		
6%	6, 38, 56***	
7%	37, 45	
8%		
9%		
10%	48, 58****	
11%		
12%	46**, 54	
13%		
14%		
15%		
16%		
17%	57	
18%		
19%		
20%		
21%		
22%		
23%		
24%		
25%	47	

** Kishiko Ogawa らの研究⁴⁶ 結果は6～18%であったが、12%とみなした。

*** Fabio Esposito らの研究⁵⁶ 結果は5～7%であったが、6%とみなした。

**** Jason A. Melnyk らの研究⁵⁸ 結果は7～13%であったが、10%とみなした。

80%) を目指して、徐々に強度を増加させる。」と示している。しかし、自体重、ラバーバンド、ダンベルでは、そもそも 1 RM、すなわち最大挙上負荷を測定することすらできない。また、自体重は変えることができないので、運動強度の調節すらできない。また、ラバーバンドやダンベルでは、体重を支える役割を果たしている下肢の骨格筋（例：大腿四頭筋）に十分量の負荷をかけることができないことも多い。

『サルコペニア診療ガイドライン』の第 3 章の「CQ2 運動がサルコペニア発症を予防・抑制できるか？」で示されている文献はわずか 9 編、第 4 章の「CQ1 運動療法はサルコペニアの治療法として有効か？」で示されている文献もわずか 12 編である。紙面の都合もあったのかもしれないが、本稿で検討した文献数は 60 編である。また、骨格筋量の評価方法も『サルコペニア診療ガイドライン』では感度の低い方法を推奨していることから「エビデンスレベル：低」ないしは「非常に低」という結論は、見直しが必要ではないかと思われる。

結論

2017 年に発行された『サルコペニア診療ガイドライン』では、「運動がサルコペニア発症を予防・抑制できるか？」についてのエビデンスレベルは「低」、「運動療法はサルコペニアの治療法として有効か？」についてのエビデンスレベルは「非常に低」と示されている。本研究では、サルコペニアを「骨格筋量減少症」と限定的にとらえ、先行研究を網羅的に検討したところ、トレーニング用マシンを使用し、アメリカスポーツ医学会が示している高齢者のレジスタンストレーニングに適したトレーニング強度を確保すれば、高齢者の骨格筋量減少症の予防・抑制や治療は十分に可能と考えられた。

本研究の結果、『サルコペニア診療ガイドライン』で推奨されている四肢骨格筋量を推定する DXA ないしは BIA では、不動や加齢、そしてトレーニングに伴う骨格筋量の変化を感度よく把握することができない可能性が高いことが示された。変化を把握するためには、感度も良く、比較的利便性も優れている超音波も併用した方が良いと考えられた。

文献

- 1) 原田 敦「サルコペニア診断における骨格筋量測定」GE Healthcare web サイト http://www3.gehealthcare.co.jp/ja-jp/products_and_service/imaging/bone_mineral_density/clinical/cv_choju_02
- 2) American College of Sports Medicine “Guidelines for Exercise Testing and Prescription Tenth Edition” Wolters Kluwer, 2016
- 3) 飛田哲郎、今釜史郎「BIA 法を用いたサルコペニア診断法開発とメタボリックシンドロームとの関連性解明」立石科学技術振興財団助成研究成果集. vol. 23, 2014, p.90-93
- 4) Brad J. Schoenfeld.:The Muscle Pump: Potential Mechanisms and Applications for Enhancing Hypertrophic Adaptations. Strength Cond. J. vol. 36, 2014, p.21-25
- 5) Felipe Damas et al.: Early resistance training-induced increases in muscle cross-sectional area are concomitant with edema-induced muscle swelling. Eur. J. Appl. Physiol. vol. 116, 2016, p.49-56
- 6) F. M. Ivey et al.: Effects of Strength Training and Detraining on Muscle Quality: Age and Gender Comparisons. J. Gerontol. A Biol. Sci. vol. 55A, 2000, p.B152-B157
- 7) Carmen Castaneda et al.: A Randomized Controlled Trial of Resistance Exercise Training to Improve Glycemic Control in Older Adults With Type 2 Diabetes. Diabetes Care. vol. 25, 2002, p.2335-2341
- 8) Philip A. Ades et al.: Resistance Training Increases Total Daily Energy Expenditure in Disabled Older Women with Coronary Heart Disease. J. Appl. Physiol. vol. 98, 2005, p.1280-1285
- 9) David W. Dunstan et al.: Home-Based Resistance Training Is Not Sufficient to Maintain Improved Glycemic Control Following Supervised Training in Older Individuals With Type 2 Diabetes. Diabetes Care. vol. 28, 2005, p.3-9
- 10) Daniel A. Galvão et al.: Does Sex Affect the Muscle Strength and Regional Lean Tissue Mass Response to Resistance Training in Older Adults? International J. Sport Health Sci. vol. 4, 2006, p.36-43
- 11) Michael J. Hartman et al.: Resistance Training Improves Metabolic Economy During Functional Tasks in Older Adults. J. Strength Cond. Res. vol. 21, 2007, p.91-95
- 12) LaStayo, Paul et al.: Elderly Patients and High Force Resistance Exercise-A Descriptive Report: Can an Anabolic, Muscle Growth Response Occur Without Muscle Damage or Inflammation? J. Geriatr. Phys. Ther. vol. 30, 2007, p.128-134
- 13) Mark Tarnopolsky et al.: Creatine Monohydrate and Conjugated Linoleic Acid Improve Strength and Body Composition Following Resistance Exercise in Older Adults. PLoS ONE. vol. 2, 2007, e991
- 14) Kieran F. Reid et al.: Lower Extremity Power Training in Elderly Subjects with Mobility Limitations: a Randomized Controlled Trial. Aging Clin. Exp. vol. 20, 2008, p.337-343
- 15) Erik D. Hanson et al.: Effects of Strength Training on Physical Function: Influence of Power, Strength, and Body Composition. J. Strength Cond. Res. vol. 23, 2009, p.2627-2637
- 16) Matthias Mueller et al.: Different Response to Eccentric and Concentric Training in Older Men and Women. Eur. J. Appl. Physiol. vol. 107, 2009, p.145-153
- 17) Dennis R. Taaffe et al.: Alterations in Muscle Attenuation following Detraining and Retraining in Resistance-Trained Older Adults. Gerontology. vol. 55, 2009, p.217-223
- 18) Lex B.Verdijk et al.: Protein Supplementation Before and After Exercise Does Not Further Augment Skeletal Muscle Hypertrophy After Resistance Training in Elderly Men. Am. J. Clin.

Nutr. vol. 89, 2009, p.608-616

- 19) Lex B. Verdijk et al.: Skeletal Muscle Hypertrophy Following Resistance Training Is Accompanied by a Fiber Type - Specific Increase in Satellite Cell Content in Elderly Men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* vol. 64A, 2009, p.332-339
- 20) Dale I. Lovell et al.: The Effect of Strength Training and Short-Term Detraining on Maximum Force and the Rate of Force Development of Older Men. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 109, 2010, p.429-435
- 21) Matthias Mueller et al.: Different Molecular and Structural Adaptations with Eccentric and Conventional Strength Training in Elderly Men and Women. *Gerontology*.vol. 57, 2011, p.528-538
- 22) Krupa Shah et al.: Exercise Training in Obese Older Adults Prevents Increase in Bone Turnover and Attenuates Decrease in Hip BMD Induced by Weight Loss Despite Decline in Bone-Active Hormones. *J. Bone Miner. Res.* vol. 26, 2011, p.2851-2859
- 23) Dennis T. Villareal et al.: Weight Loss, Exercise, or Both and Physical Function in Obese Older Adults. *N. Engl. J. Med.* vol. 364, 2011, p.1218-1229
- 24) A. Arnarson et al.: Effects of Whey Proteins and Carbohydrates on the Efficacy of Resistance Training in Elderly People: Double Blind, Randomized Controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.* vol. 67, 2013, p.821-826
- 25) D. Glinborg et al.: Strength Training and Testosterone Treatment Have Opposing Effects on Migration Inhibitor Factor Levels in Ageing Men. *Mediat. Inflamm.* 2013, 539156
- 26) Anthony P. Marsh et al.: Resistance Training and Pioglitazone Lead to Improvements in Muscle Power During Voluntary Weight Loss in Older Adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* vol. 68, 2013, p.828-836
- 27) Maren S. Fragala et al.: Biomarkers of Muscle Quality: N-Terminal Propeptide of Type III Procollagen and C-Terminal Ggrin Fragment Responses to Resistance Exercise Training in Older Adults. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle*.vol. 5, 2014, p.139-148
- 28) Neil A. Kelly et al.: Novel, High-Intensity Exercise Prescription Improves Muscle Mass, Mitochondrial Function, and Physical Capacity in Individuals with Parkinson' s Disease. *J. Appl. Physiol.* vol. 116, 2014, p.582-592
- 29) Matthew G. Villanueva et al.: Periodized Resistance Training With and Without Supplementation Improve Body Composition and Performance in Older Men. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 114, 2014, p.891-905
- 30) Alex S. Ribeiro et al.: Effect of Resistance Training on C-Reactive Protein, Blood Glucose and Lipid Profile in Older Women with Differing Levels of RT Experience. *AGE.* vol. 37, 2015, 109
- 31) Wagner Rodrigues Martins et al.: Effects of Short Term Elastic Resistance Training on Muscle Mass and Strength in Untrained Older Adults: a Randomized Clinical Trial. *BMC Geriatrics.* vol. 15, 2015, 99
- 32) Runar Unhjem et al.: Strength Training-Induced Responses in Older Adults: Attenuation of Descending Neural Drive with Age. *AGE.* vol. 37, 2015, 47
- 33) Matthew G. Villanueva et al.: Short Rest Interval Lengths between Sets Optimally Enhance Body Composition and Performance with 8 Weeks of Strength Resistance Training in Older Men. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 115, 2015, p.295-308
- 34) Denise Zdzienlik et al.: Collagen Peptide Supplementation in Combination with Resistance Training Improves Body Composition and Increases Muscle Strength in Elderly Sarcopenic Men: a Randomised Controlled Trial. *Brit. J. Nutr.* vol. 114, 2015, p.1237-1245

- 35) Susan J. Torres et al.: Effects of Progressive Resistance Training Combined with a Protein-Enriched Lean Red Meat Diet on Health-Related Quality of Life in Elderly Women: Secondary Analysis of a 4-month Cluster Randomised Controlled Trial. *Brit. J. Nutr.* vol. 117, 2017, p.1550-1559
- 36) Dennis T. Villareal et al.: Aerobic or Resistance Exercise, or Both, in Dieting Obese Older Adults. *N. Engl. J. Med.* vol. 376, 2017, p.1943-55.
- 37) Gladys Leopoldine Onambélé-Pearson et al.: Influences of Carbohydrate Plus Amino Acid Supplementation on Differing Exercise Intensity Adaptations in Older Persons: Skeletal Muscle and Endocrine Responses. *AGE.* vol. 32, 2010, p.125-138
- 38) Gladys Leopoldine Onambélé-Pearson et al.: Influence of Exercise Intensity in Older Persons with Unchanged Habitual Nutritional Intake: Skeletal Muscle and Endocrine Adaptations. *AGE.* vol. 32, 2010, p.139-153
- 39) Lindy Clemson et al.: Integration of Balance and Strength Training into Daily Life Activity to Reduce Rate of Falls in Older People (the LiFE study): Randomised Parallel Trial. *BMJ.* vol. 345, 2012, e4547
- 40) Jinkee Park: Effects of 24-week Resistance Exercise Training on Carotid Peak Systolic and End Diastolic Flow Velocity in Healthy Older Adults. *J. Phys. Ther. Sci.* vol. 28, 2016, p.2793-2797
- 41) Leonel Sao Romao Preto et al.: Effects of a Rehabilitation Nursing Program on the Functional Fitness of Institutionalized Elderly. *Revista de Enfermagem Referência.* vol. 4, 2016, p.55-63
- 42) Sandra Haider et al.: Impact of a Home-Based Physical and Nutritional Intervention Program Conducted by Lay-Volunteers on Handgrip Strength in Prefrail and Frail Older Adults: A Randomized Control Trial. *PLoS ONE.* vol. 12, 2017, e0169613
- 43) Shunji Koya et al.: Effects of In-Hospital Exercise on Liver Function, Physical Ability, and Muscle Mass during Treatment of Hepatoma in Patients with Chronic Liver Disease. *Hepatol. Res.* vol. 47, 2017, p.E22-E34
- 44) Yu Yaginuma et al.: Can Handgrip Strength Improve Following Body Mass-Based Lower Body Exercise? *BioResearch Open Access.* vol. 6.1, 2017
- 45) K. Hakkinen et al.: Neuromuscular Adaptation during Prolonged Strength Training, Detraining and Re-Strength-Training in Middle-Aged and Elderly People. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 83, 2000, p.51-62
- 46) Kishiko Ogawa et al.: Resistance Exercise Training-Induced Muscle Hypertrophy Was Associated with Reduction of Inflammatory Markers in Elderly Women. *Mediat. Inflamm.* 2010; 171023
- 47) Cleiton Silva Correa et al.: Effects of Strength Training and Detraining on Knee Extensor Strength, Muscle Volume and Muscle Quality in Elderly Women. *AGE.* vol. 35, 2013, p.1899-1904
- 48) Simon Walker et al.: Medium-Intensity, High-Volume “Hypertrophic” Resistance Training did not Induce Improvements in Rapid Force Production in Healthy Older Men. *AGE.* vol. 37, 2015, 41
- 49) Tomohiro Yasuda et al.: Thigh Muscle Size and Vascular Function After Blood Flow-Restricted Elastic Band Training in Older Women. *Oncotarget.* vol. 7, 2016, p.33595-33607
- 50) Maria A. Fiatarone et al.: Exercise Training and Nutritional Supplementation for Physical Frailty in Very Elderly People. *N. Engl. J. Med.* vol. 330, 1994, p.1769-1775
- 51) Joshua J. Avila et al.: Effect of Moderate Intensity Resistance Training during Weight Loss on Body Composition and Physical Performance in Overweight Older Adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 109, 2010, p.517-525
- 52) Eduardo L. Cadore et al.: Multicomponent Exercises Including Muscle Power Training Enhance

- Muscle Mass, Power Output, and Functional Outcomes in Institutionalized Frail Nonagenarians. *AGE*. vol. 36, 2014, p.773-785
- 53) Mark D. Haub et al.: Effect of Protein Source on Resistive-Training-Induced Changes in Body Composition and Muscle Size in Older Older Men. *Am. J. Clin. Nutr.* vol. 76, 2002, p.511-517
 - 54) Frederick M. Ivey et al.: Effects of Age, Gender, and Myostatin Genotype on the Hypertrophic Response to Heavy Resistance Strength Training. *J. Gerontol. A Biol. Sci.* vol. 55A,2000, p.M641-M648
 - 55) M. Kongsgaard et al.: Heavy Resistance Training Increases Muscle Size, Strength and Physical Function in Elderly Male COPD-Patients: a Pilot Study. *Resp. Med.* vol. 98, 2004, p.1000-1007
 - 56) Fabio Esposito et al.: Surface EMG and Mechanomyogram Disclose Isokinetic Training Effects on Quadriceps Muscle in Elderly People. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 94, 2005, p.549-557
 - 57) Christopher I. Morse et al.: Gastrocnemius Specific Force is Increased in Elderly Males Following a 12-Month Physical Training Programme. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 100, 2007, p.563-570
 - 58) Jason A. Melnyk et al. Effects of Strength Training and Detraining on Regional Muscle in Young and Older Men and Women. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 105, 2009, p.929-938
 - 59) Mariasole Da Boit et al.: Sex Differences in the Effect of Fish-Oil Supplementation on the Adaptive Response to Resistance Exercise Training in Older People: a Randomized Controlled Trial. *Am. J. Clin. Nutr.* vol. 105, 2017, p.151-158
 - 60) M. Bonnefoy et al.: The Effects of Exercise and Protein-Energy Supplements on Body Composition and Muscle Function in Frail Elderly Individuals: a Long-Term Controlled Randomised Study. *Brit. J. Nutr.* vol. 89, 2003, p.731-738
 - 61) Valeria Parente et al.: Long-Term Resistance Training Improves Force and Unloaded Shortening Velocity of Single Muscle Fibres of Elderly Women. *Eur. J. Appl. Physiol.* vol. 104, 2008, p.885-893
 - 62) Stig Molsted et al.: Resistance Training and Testosterone Levels in Male Patients with Chronic Kidney Disease Undergoing Dialysis. *BioMed. Res. Int.* 2014, 121273
 - 63) Wayne W. Campbell et al.: Resistance Training Preserves Fat-free Mass Without Impacting Changes in Protein Metabolism After Weight Loss in Older Women. *Obesity.* vol. 17, 2009, p.1332-1339
 - 64) Elizabeth A. Valente et al.: The effect of the Addition of Resistance Training to a Dietary Education Intervention on Apolipoproteins and Diet Quality in Overweight and Obese Older Adults. *Clin. Interv. Aging.* vol. 6, 2011, p.235-241
 - 65) Wayne Phillips & Rex Hazeldene: Strength and Muscle Mass Changes in Elderly men Following Maximal Isokinetic Training. *Gerontology.* vol. 42, 1996, p.114-120